

学校编码：10384
学 号：S200330007

分类号_____密级_____
UDC _____

厦 门 大 学
硕 士 学 位 论 文
地面数字电视传输系统中 RS 编解码
技术的研究

Research for RS encoding and decoding technology in the
Digital Television Terrestrial Broadcasting System

宋 鹰 武

指导教师姓名：程 恩 教授
专 业 名 称：无线电物理
论文提交日期：2005 年 月
论文答辩时间：2005 年 月
学位授予日期：2005 年 月

答辩委主席：_____
评 阅 人：_____

2006年 月

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文而产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博士论文摘要库

摘 要

随着信息和通信技术的发展,广播电视领域正在发生一场深刻革命,数字电视正日益成为现代电视系统的主流。在这样的背景下,清华大学吸取了国内外在地面数字电视广播上的研究成果,提出了富有创新性的一种地面数字电视传输标准:DMB-T 传输系统。而 RS 码作为一类强大和被广泛使用的前向纠错码,具有同时纠正突发错误和随机差错的能力,且纠正突发错误更有效,因而被应用于 DMB-T 系统的信道编码方案中。

本论文基于 DMB-T 传输系统中采用的 RS(208,188)码的编解码技术,研究了国内外近年来在 RS 码编译码算法及其实现以及相关技术的进展,并采用 BM 迭代算法对 RS 码的编译码算法进行了实现,同时对译码算法进行了性能上的分析。主要展开了以下几个方面的工作:

- 1、对通用的 RS 编解码算法进行了分析和比较。从工程应用的角度,讨论了 RS 码的几种编译码算法,并且着重讨论了 RS 码的应用和如何用 FPGA 设计 RS 编译码器。

- 2、对有限域基本算法,包括加法、乘法以及求逆的实现进行了研究,并使用上述加法、乘法以及求逆的基本单元对 RS 编码算法进行了实现。

- 3、对较复杂的译码算法进行了重点设计,采用 BM 迭代算法对译码算法进行了实现。译码算法主要包括求伴随式、关键方程求解、钱搜索以及求错误值等几部分。并从结构上研究了如何用比较简单、易于实现的逻辑运算来完成硬件实现。

- 4、通过 matlab 软件编程对译码算法进行了性能上的分析,研究影响 RS 译码运算量的关键因素,提出改进的思路。同时介绍当前 RS 软判决译码算法的发展现状,简要介绍 RS 软判决译码算法的几种较好的算法及实现的结构。

关键词: 数字电视; DMB-T; RS 码

厦门大学博硕士论文摘要库

Abstract

With the development of the technology, a profound revolution is undergoing in the field of television broadcasting and digital television is becoming the mainstream of modern television system.

Terrestrial digital multimedia/television broadcasting(DMB-T) system is presented by Tsinghua University. Reed-Solomon (RS) code is one of the most powerful and widely used coding schemes for FEC. Because the ability to correct both burst errors and random errors, especially the burst errors, RS code were used in the channel coding scheme in DMB-T.

In this thesis, on the basis of the encoding-decoding algorithms, their implementing paths and their relative technologies developed in these fields, we use the Berlekamp-Massey Algorithm to implement our design about the decoding of RS(208,188) code. In this thesis, the parameter of RS code is (208,188) which can correct no more than 10 errors. Several aspects are included in the thesis:

1. Analysis and compare with several general RS encoding and decoding algorithm. This thesis discusses several algebraic algorithms for encoding and decoding Reed-Solomon codes from the view of engineering. Then their applications is investigated particularly. FPGA implementation of Reed-Solomon codes is discussed.

2. Several basis operations in GF including add, multiplication and inverse are discussed and then programming the operation in Matlab. A logic operation cell which can be implemented easily is used in our architecture by considering the time and area factor. the RS encoding algorithm is implemented by using the standard cell which is mentioned above.

3. The architecture design of RS decoding algorithm is our emphasis. The algorithm includes several parts: Syndrome Calculator, Key Equation Solver, Chien Search and Error Value Evaluator. The design is implemented by using the Berlekamp-Massey Algorithm.

4. The implementation complexity of these algorithms is investigated. The key of decoding operation is presented. Several classical soft-decision algorithms for decoding Reed-Solomon codes are investigated.

Key word: Digital TV; DMB-T; RS Coding

厦门大学博硕士论文摘要库

目 录	
第一章 绪 论	1
1.1 课题研究背景与意义	1
1.2 课题研究的主要内容	3
1.3 本章小结	4
第二章 DMB-T 数字电视广播系统介绍	5
2.1 系统综述	5
2.2 数据扰码	7
2.3 外码纠错编码	8
2.4 数据交织与解交织	8
2.5 内编码	11
2.6 帧结构	15
2.7 本章小结	15
第三章 数学基础和编码理论	16
3.1 信道编码理论	16
3.2 有限域	16
3.3 循环码	17
3.4 BCH 码	19
3.5 RS 码	20
3.6 本章小结	21
第四章 RS 编解码算法研究与实现	22
4.1 RS 编码算法	22
4.2 RS 解码算法	23
4.2.1 伴随式的计算	26
4.2.2 差错位置多项式的迭代算法	27
4.2.3 利用钱搜索计算差错位置	29
4.2.4 利用 Forney 算法计算错误值	30

4.3 RS 编码器的实现	31
4.3.1 有限域乘法器的设计	32
4.3.2 有限域求逆器的设计	33
4.3.3 编码器的逻辑实现	33
4.4 RS 解码器的实现	35
4.4.1 伴随式计算器的实现	37
4.4.2 关键方程求解器的实现	38
4.4.3 钱搜索电路	42
4.4.4 错误值计算器实现	44
4.5 译码算法的性能分析及发展	45
4.6 本章小结	48
第五章 结论与展望	49
5.1 小结.....	49
5.2 展望.....	49
参考文献.....	50
致 谢.....	53

Contents

Chapter 1	Preface.....	1
1.1	Background and meaning	1
1.2	Main content.....	3
1.3	Summary.....	4
Chapter 2	Introduction to DMB-T.....	5
2.1	Overview	5
2.2	Data disturbing.....	7
2.3	Outer encoding	8
2.4	Interleaving and De-interleaving.....	8
2.5	Inner encoding.....	11
2.6	Frame architecture	15
2.7	Summary.....	15
Chapter 3	Mathematics foundation and encoding theory	16
3.1	Channel encoding theory.....	16
3.2	Finite field.....	16
3.3	Cyclic code	17
3.4	BCH code	19
3.5	RS code.....	20
3.6	Summary.....	21
Chapter 4	Research and implementation of RS code.....	22
4.1	RS encoding algorithm	22
4.2	RS decoding algorithm	23
4.2.1	Syndrome computation	26
4.2.2	Iterative arithmetic of error location	27
4.2.3	Computation of error location.....	29
4.2.4	Computation of error value.....	30
4.3	Implementation of RS encoding	31
4.3.1	Research of multiplication in finite field	32
4.3.2	Design for inversion in finite field.....	33

4.3.3 Logic realization of RS encoding	33
4.4 Implementation of RS decoding	35
4.4.1 Implementation of syndrome calculator	37
4.4.2 Design of solving key equation.....	38
4.4.3 Chien search.....	42
4.4.4 Implementation of error-value calculator	44
4.5 Analyse and development of decoding algorithm	45
4.6 Summary.....	48
Chapter 5 Conclusion and prospect.....	49
5.1 Conclusion	49
5.2 Prospect.....	49
References	50
Acknowledgments	53

第一章 绪论

1.1 课题研究背景与意义

随着信息和通讯技术的快速发展,人们对高科技通讯产品的使用度和依赖与日俱增,而电视作为几乎每个人每天都要接触的产品,在经历了第1代黑白电视,第2代彩色电视以后,正处在第3代高清晰度电视(HDTV)的时代。在现代信息社会构建信息高速公路的趋势下,各国普遍采用数字电视的方案来发展高清晰度电视(HDTV)。电视广播的数字化已成为当今电视广播发展的主要方向。

数字电视是整个电视广播产业链条上的一次大变革,被誉为新世纪的战略技术,尤其是数字地面电视广播(DTTB)牵涉到与移动通信,移动互联网的融合,即三网合一,所以数字电视地面广播标准深刻影响到诸如信息服务业和接收终端制造业的发展,被喻为“战争中的制空权”,成为国际数字电视产业竞争的制高点。目前经国际电信联盟(ITU)批准的DTTB传输标准主要有三种^[1]:

- 美国高级电视委员会(ATSC)研发的格形编码的8电平残留边带(8-VSB)调制系统。
- 欧洲数字视频地面广播(DVB-T)标准,它采用编码正交频分复用调制(COFDM)。
- 日本地面综合业务数字广播(ISDB-T),它采用频带分段传输正交频分复用调制(BST-COFDM)。

随着技术的发展和研究的不断深入,人们认识到在信号峰值—平均功率比、C/N门限、移动接收、室内/外接收天线、频谱效率、HDTV传输能力、同频/邻频干扰、对现有模拟电视的干扰、单频网和同频道转发、脉冲干扰和连续波干扰、相位噪声、静态/动态的多径信道、系统的灵活性等方面,上述3个系统各有其优缺点。

中国作为一个正在蓬勃发展的大国,拥有着广阔的电视机市场,同时有着庞大的电视机产业。但随着模拟电视市场逐渐地趋于饱和,发展数字电视已成为必然趋势。国家对此非常重视,把数字电视的研发和生产列入了国家“十五”发展规划,由于上述的三个标准各有其优缺点,同时拥有一个具有自主知识产权的地

面数字电视标准对于我国的电视产业的发展也具有战略性的意义,因此国家非常支持开发具有我国自主知识产权的数字电视广播系统。

在此背景下,清华大学吸取上述 3 个地面数字电视传输系统的经验和教训,借鉴数字通信领域近年来取得的最新技术成果,针对近年来互联网对电视广播新的需求,提出了一种创新的、适合中国国情的地面数字电视广播传输系统,称为:地面数字多媒体电视广播 (Terrestrial Digital Multimedia/TV Broadcasting, DMB-T) 方案,采用了时域同步正交频分复用 (Time Domain Synchronous-Orthogonal Frequency Division Multiplexing, TDS-OFDM) 调制方式^[2]。

DMB-T 传输系统是针对数字电视广播业务与服务提出的需求而设计的,这些需求主要包括:提供包括 HDTV 在内的多媒体广播和综合数据业务;支持固定、便携、移动等接收设备;高度灵活的频率规划和广播覆盖区域。

DMB-T 传输系统根据中国地面广播电视的具体情况,将上述业务与服务的需求归纳为下面的设计需求:

- 射频信道范围与现有模拟电视广播兼容;
- 基带频率带宽为 8MHz;
- 移动接收机的时速小于 130Km/h;
- 单发射机覆盖范围的半径小于 75Km;
- 适用地区为都市、郊区、城镇、乡村;
- 适用地貌为平原、丘陵、海滨、湖畔;
- 适用环境为室内、室外、车载、便携。

根据这些设计需求,通过理论分析可以得出 DMB-T 传输系统的信道特征如下^[2]:

- ◆ 频率选择性: 时延分布 (Delay Spread) 约为 $50 \mu s$;
- ◆ 时间选择性: 多普勒分布 (Doppler Spread) 约为 100Hz;
- ◆ 信道模型: 广义平稳非相关散射 (WSSUS) 的多径信道;
- ◆ 噪声干扰模型: 加性高斯白噪声 (AWGN)、脉冲式干扰、单频干扰等。

针对上述信道特征,DMB-T 传输系统的设计指导思想是将数据检测与信道估计分别对待,以获得最佳的接收效果。对于数据检测,DMB-T 传输系统采用了频谱效率高、抗多径干扰能力强、适用于宽带信号传输的 OFDM 调制方式。

对于信道估计，DMB-T 传输系统在时域中采用了已知的周期伪随机（PN）序列作为参考信号。与现有的数字电视传输标准相比，DMB-T 是一种时域信号处理与频域信号处理相结合的创新技术，从而可以同时发挥数字信号处理在时域和频域中的特点。

DMB-T 传输系统采用的纠错编码和交织编码技术是根据多媒体业务和移动接收的服务需求而设计的。

表 1-1 列出了 DMB-T 和其他 3 种数字电视传输系统的异同。

表 1-1 各种地面数字电视传输系统的特点

	DMB-T	ATSC	DVB-T	ISDB-T
调制方式	多载波	单载波	多载波	多载波
纠错编码	格状码	格状码	卷积码	卷积码
同步方式	时域信号处理	时域信号处理	频域信号处理	频域信号处理
均衡方式	时域与频域均衡	时域均衡	频域均衡	频域均衡

1.2 课题研究的主要内容

由于地面数字电视的传输信道主要是无线信道，传输信道的状况较差，极易发生错码等情况，从而导致通信质量降低，因此有必要采用纠错码技术对信息源进行处理。在各种纠错码技术当中，RS 纠错编码是目前最有效、应用最广泛的差错控制编码之一。RS 码既能纠正随机错误，又能纠正突发错误，由于它构造方便、编码简单、并且具有严格的代数结构，因此在数字电视广播系统中，以 RS 码为外码的级联编码已成为通用的信道编码方案。

本论文以 DMB-T 地面数字电视广播系统为背景，研究了 RS 编解码的算法及其实现；同时对 RS 译码算法的性能进行了分析。

本论文的各章内容如下：

第一章为绪论，主要阐述了论文选题的背景、意义及研究的主要内容。

第二章简要介绍了整个 DMB-T 地面数字电视广播系统及其关键技术。

第三章介绍了和信道编码相关的代数论当中的域、有限域等基本数学知识以及基本的编码理论。

第四章讨论了实现 RS 编码/解码的算法，详细介绍了本文所使用的时域 RS 编解码算法、硬件实现及译码算法的性能分析。

第五章是对全文的总结和未来研究的展望。

1.3 本章小结

本章介绍了论文有关的背景，介绍了论文的主要工作，并就论文的结构进行了说明。

第二章 DMB-T 数字电视广播系统介绍

2.1 系统综述

数字电视广播依据其传输信号的不同可分为卫星电视广播、有线电视广播和地面数字电视广播。地面无线数字电视广播的传输特性与另两个电视广播相较之下,有比较大的不同,而且由于对地面无线数字电视广播的性能方面各国有不同的考虑,这些都影响到信道编码和调制等信号处理的要求。从 20 世纪 90 年代中期开始,欧美日等工业发达国家已致力于数字电视广播的发展,到目前为止,国际上地面数字电视广播系统的标准主要分为三大类:欧洲的 DVB-T、美国的 ATSC 和日本的 ISDB-T。

在过去 30 多年来,国际上许多国家从不同角度研究发展使模拟电视(NTSC、PAL 或 SECAM)转变为新一代电视^[4]。日本最早研发“新一代高品质电视”,后来定名为“高清晰度数字电视(HDTV)”,其参数规范为扫描线数约 1125 条,画面宽高比为 16:9,亮度与色差信号经过模拟/数字处理技术压缩后的分频多工综合频宽为 30MHz。应用在实际广播时需 24MHz 频宽的卫星通道,亮度与色差信号以分时多工方式传输,构成 Hivision 系统标准。但由于技术上相对落后,使得普及性低,在日本国内发展相当慢。而在美国方面,发展初期一直支持日本的 1125/60/2:1 参数规范,并希望成为国际上的高清晰度数字电视(HDTV)节目制作的标准,但后期则改变其想法,认为新一代电视应该在不改变 6MHz 射频频宽信道的规划下来实现高清晰度数字电视地面广播,因此对高清晰度数字电视频宽很宽的视频信号需要高倍率的编码率压缩,经努力研究发展后,研发出全数字化的高清晰度数字电视即 ATSC 系统标准。在另一方面,欧洲在日本确定 Hivision 时,EBU(European Broadcasting Union, 欧洲广播联盟)为了从技术上对其抗衡,提出了与 Hivision 类似用于卫星高清晰度数字电视(HDTV)广播的 HD-MAC 标准,但是在实际上仍然处于模拟与数字混合的标准,在美国的全数字化 ATSC 的影响下,相对也显得技术落后。于是在宣告停播 HD-MAC 标准之后,转而由民间业者组织成立 DVB(Digital Video Broadcasting, 数字视频广播)组织,在考虑市场发展需求下,首先开发全数字化的标准数字电视(SDTV),把模拟电视转化为标准

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库